

Lasse Holopainen

Tietokoneavusteinen mittausmenetelmä diagnostisten monitorien laadunvalvonnassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

25.3.2017

| | |
|--|--|
| Tekijä | Lasse Holopainen |
| Otsikko | Tietokoneavusteinen mittausmenetelmä diagnostisten monitorien laadunvalvonnassa |
| Sivumäärä | 28 sivua |
| Tutkinto | Insinööri (AMK) |
| Koulutusohjelma | Sähkötekniikka |
| Suuntautumisvaihtoehto | Elektroniikka ja terveydenhuollon tekniikka |
| Ohjaajat | Huoltopäällikkö Markus Bergfors Lehtori Esko Tattari |
| <p>Tämä insinöörityö tehtiin Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin HUS-Kuvantamiselle. Insinöörityön tarkoituksena oli tutustua diagnostisten monitorien tekniseen laadunvalvontaan ja kehittää sen tueksi tietokoneavusteinen mittausmenetelmä.</p> <p>Ennestään käytössä olevaan Microsoft Excel-muotoiseen mittausraporttiin lisättiin automaattisia toimintoja ja sen rinnalle ohjelmoitiin Python-ohjelmointikielellä prototyyppi-mittausohjelma, joka syöttää mitatut arvot mittalaitteelta suoraan raporttiin. Uuden menetelmän on oltava yhteensopiva HUS:n tietojärjestelmien kanssa ja raportissa olevien materiaalien kaavojen on pysyttävä ennallaan.</p> <p>Menetelmä testattiin aidossa käyttöympäristössä vuosittaisen laadunvalvontakierroksen yhteydessä. Menetelmän nopeutta arvioitiin Peijaksen sairaalan röntgenosastolla ja käytettävyyttä arvioitiin Jorvin sairaalan röntgenosastolla mittauksista vastaavan henkilöstön kanssa. Tavoitteena oli tehostaa 30–45 minuuttia kestävä mittautapahtuma 15–25 minuuttiin.</p> <p>Tavoite saavutettiin hyvällä menestyksellä ja tehokkuuden arvioinnin perusteella mittausmenetelmä nopeutui noin 45 minuutista noin 22,5 minuuttiin. Käytettävyyssarvioinnin perusteella uusi menetelmä on käyttökelpoinen ja sen käytön voi oppia nopeasti.</p> <p>Menetelmän helppokäyttöisyyttä olisi mahdollista kehittää edelleen laajentamalla se kattamaan koko mittausraportin täyttö mittausohjelman sisällä. Laaja toimintojen optimointi ja tietotekniikan hyödyntäminen on yksi tapa vastata sosiaali- ja terveydenhuollon uudistuksen tuomiin säästöpainaisiin.</p> | |
| Avainsanat | diagnostinen monitori, laadunvalvonta, optimointi, tietokoneavusteinen mittaus, Python |

| | |
|--|--|
| Author | Lasse Holopainen |
| Title | Computer-Assisted Measuring Method for Quality Control of Medical Diagnostic Displays |
| Number of Pages | 28 pages |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Electrical engineering |
| Specialisation option | Electronics and medical engineering |
| Instructor | Markus Bergfors, Service manager Esko Tattari, Senior Lecturer |
| <p>This study was done for the Medical Imaging Department (HUS-Kuvantaminen) of the Hospital District of Helsinki and Uusimaa (HUS). The scope of this study was to familiarize with the quality assurance of medical diagnostic displays and to develop a computer-assisted measurement method to support it.</p> <p>Automatic functions were added to the Microsoft Excel-format measurement report already in use and a Python-code based prototype measurement application was developed to transmit values from a measurement device straight to the report. The new measurement method needs to be compatible with the information systems of HUS and the mathematical functions of the measurement report may not be modified.</p> <p>The method was tested in its real operating environment as a part of the standard quality control routine. The time advantage was tested at the radiology ward of the Peijas hospital and the usability tests were conducted at the radiology ward of the Jorvi hospital with the help of two staff members. The goal was to optimize the measurement routine from 30–45 minutes per diagnostic workstation to 15–25 minutes.</p> <p>The goal was successfully achieved and the time advantage evaluation showed that the routine was speeded up by 50 % from approximately 45 to approximately 22.5 minutes per workstation. The usability tests found the new method easy to use and quick to learn.</p> <p>The method's usability could be developed further by extending it to cover the whole measuring report within the measurement application. Wide optimization of functions and utilization of information technology could be seen as an answer to the cost efficiency demands set by the social and healthcare renovation.</p> | |
| Keywords | medical diagnostic display, quality control, optimization, computer-assisted measuring, Python |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|-----------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Laadunvalvontamittaukset | 3 |
| 2.1 | Mittalaitteet | 5 |
| 2.2 | Mittausraportti | 6 |
| 2.3 | Mittautapahtuman kulku | 10 |
| 3 | Menetelmän optimointi | 11 |
| 3.1 | Mittausraportin optimointi | 12 |
| 3.2 | Mittausohjelman kehitys | 16 |
| 3.3 | Mittautapahtuman uusi kulku | 23 |
| 4 | Menetelmän tehokkuuden arviointi | 24 |
| 4.1 | Nopeuden arviointi Peijaksessa | 24 |
| 4.2 | Käytettävyyden arviointi Jorvissa | 25 |
| 5 | Yhteenveto | 26 |
| | Lähteet | 28 |

Lyhenteet

| | |
|---------|---|
| AAPM | The American Association of Physicists in Medicine. Yhdysvaltalainen lääketieteellisten fyysikoiden yhdistys. |
| ASCII | American Standard Code for Information Interchange. Tekstin koodaamiseen käytetty merkkisarja. |
| DICOM | Digital Imaging and Communications in Medicine. Lääketieteellisen kuvantamisen standardi. |
| HID | Human Interface Device. Tietokoneen syöttölaiteluokka. |
| HUS | Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri. |
| MS | Microsoft. |
| PACS | Picture archiving and communication systems. Lääketieteellisten kuvien tallennus- ja siirtojärjestelmä. |
| PDF | Portable Document Format. Tiedostomuoto. |
| STUK | Säteilyturvakeskus. |
| USB | Universal Serial Bus. Tiedonsiirtoväylä. |
| Wscript | Windows Script Host. Windowsin toimintojen automatisointiin tarkoitettu rajapinta. |

1 Johdanto

Lääketieteellisen kuvantamisen ketju alkaa kuvan ottamisesta vastaanotolla. Röntgen-, magneetti-, isotooppi- ja ultraäänikuvantamisen tuloksena syntyvät kuvat esikäsitellään tarkoituksen mukaan ja tallennetaan Picture archiving and communication systems- eli PACS-palvelimille. Sairaaloissa on PACS-verkkoon yhdistettyjä työasemia, joilla palvelimille tallennettuja kuvia voidaan katsella ja sanella. PACS-järjestelmän osat on esitetty kuvassa 1.



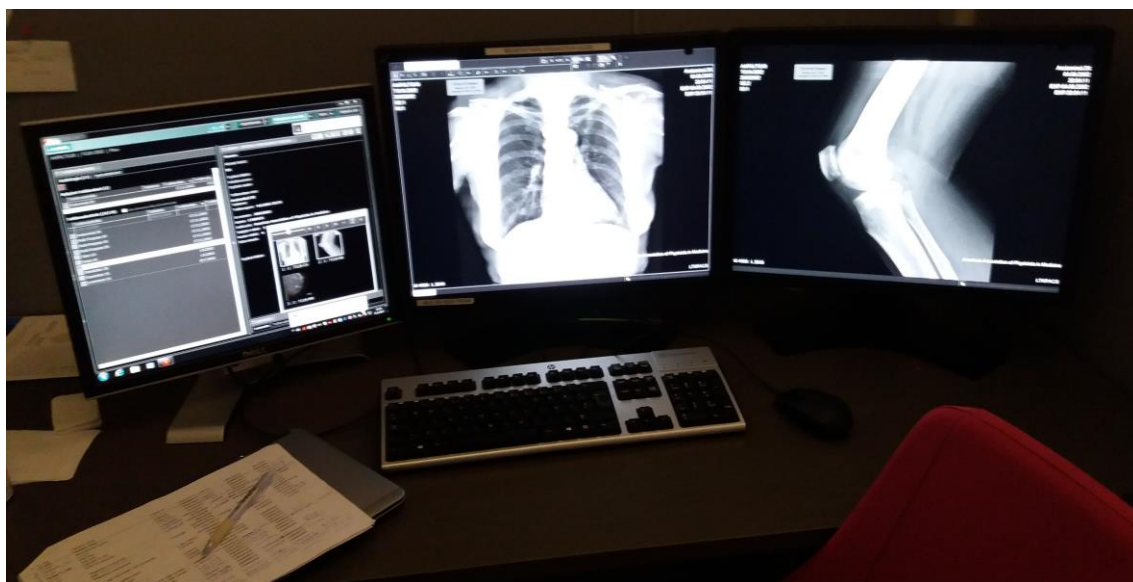
Kuva 1. Radiologimonitoreita valmistavan Barcon havainnekuva PACS-järjestelmästä [1].

Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä HUS-Kuvantamisen käytössä on noin 200 PACS-työasemaa, joita radiologit käyttävät lääketieteellisen kuvantamisen tuottamien kuvien katseluun ja saneluun. Työasemissa (kuvassa 2) on erikoisvalmisteiset monitorit, joiden laatua tarkkaillaan vuosittaisilla vakioisuusmittauksilla HUS:n laadunvalvontakäytänteiden mukaisesti.

Käytänteet perustuvat Säteilyturvakeskuksen (STUK) suositukseen sekä soveltuvin osin The American Association of Physicists in Medicine Task Group 18:n (AAPM TG18) vuonna 2005 tekemään selvitykseen radiologisten kuvankatselumonitorien lääketieteellisen diagnoosin kannalta merkittävistä laatuun vaikuttavista tekijöistä.

Mittauksissa käytetään tähän tarkoitukseen valmistettua yhdistelmämittalaitetta ja tulokset täytetään sairaalafyysikoiden määrittämään, laskentakaavoja sisältävään, Microsoft Excel -taulukoon. Excel-taulukko toimii mittausraporttina ja kansisivulta nähdään heti,

täyttääkö monitori määritetyt laatuvaatimukset. Mittausraportti tallennetaan Lääkintätekniikan ylläpitämään laiterekisteriin sekä Sairaalfysiikan ja Lääkintätekniikan yhteiskäytössä olevaan monitoritietokantaan. Sairaalfysiikka on vastuussa monitorien laadusta yleisesti ja Lääkintätekniikka monitorien vuosittaisista vakioisuusmittauksista ja tietokantojen ylläpitämisestä.[2, s. 1; 5, s. 6.]



Kuva 2. Radiologin sanelutyöasema, jossa avattuna Agfa Impax – PACS-ohjelma. Oikeanpuoleisilla kahdella diagnostisella monitorilla näkyy AAPM:n anatomiset testikuvat.

Tässä projektissa tutustutaan mittausprosessiin sekä mittausraportin täyttämiseen ja kehitetään tietokoneavusteinen automatisoitu mittausmenetelmä, jonka ensisijainen tarkoitus on nopeuttaa mittaustapahtumaa yksittäisellä työasemalla. Toimiessaan ideaalisesti menetelmä tehostaa laadunvalvontaprosessia ja vähentää työaseman seisonta-aikaa, jonka työasema on poissa radiologin käytöstä mittauksen aikana.

Tavoitteena on tehostaa nykyisellään 30–45 minuuttia kestävä mittaustapahtuma 15–25 minuuttiin ja tuottaa mittauksia suorittavan henkilöstön käyttöön optimoitu mittausmenetelmä ja työkalu, jolla vuosittaisten laadunvalvontamittausten suorittaminen olisi helpompaa, mielekkäämpää ja ennen kaikkea nopeampaa.

2 Laadunvalvontamittaukset

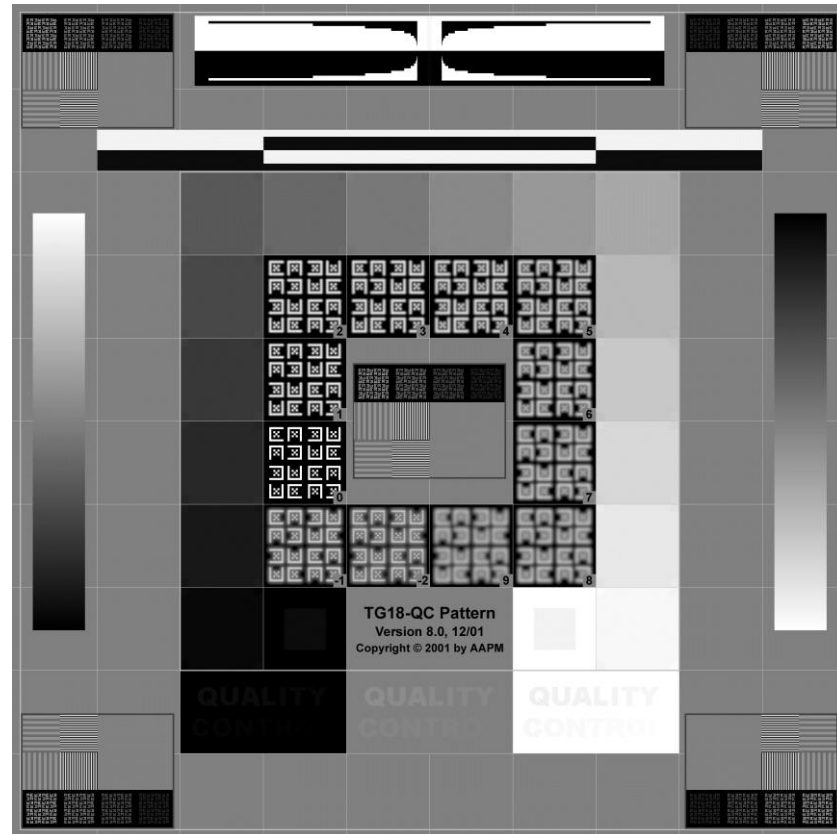
Vuosittaisen laadunvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että radiologien käytössä olevat diagnostiset monitorit täyttävät niille asetetut vaatimukset. Näiden vaatimusten laadinnassa on sovellettu AAPM:n TG18-raporttia, johon perustuu myös STUK:n suositus säteilevien laitteiden kanssa käytettävien monitorien laadunvalvonnasta. Kaikki diagnostisessa käytössä olevat monitorit on kalibroitu Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM-standardin mukaisesti. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kuvien harmaasävyjen pitäisi näyttää samalta kaikilla monitoreilla ja työasemilla. [2, s. 7.]

Laadunvalvonnan yhteydessä mitattavia suureita ovat luminanssi, illuminanssi ja kromaattisuus. Luminanssi tarkoittaa monitorin pinnan valovoimakkuutta, illuminanssi huoneen valaistuksen voimakkuutta ja kromaattisuus värin sävyn kylläisyyttä tai puhtautta. Luminanssin mittauksella varmistetaan, että monitorin harmaasävyt toistuvat DICOM-standardin edellyttämällä tavalla. Luminanssille on määritetty absoluuttiset maksimi- ja minimiarvot sekä laskennalliset luminanssi- ja kontrastivasteet, joille on määritetty maksimipoikkeama ihmissilmän erottelukykyyn perustuvalta harmaasävykäyrältä. Luminanssin yksikkö on ”kandelaa per neliometri” (cd/m^2).

Illuminanssin mittaus perustuu suositukseen kuvankatselutilan valaistuksen voimakkuudesta. Valaistuksen voimakkuudelle on asetettu raja-arvot monitorin käyttötarkoituksen mukaan. Nämä arvot ovat kompromissi, jolla pyritään ihmissilmän optimaaliseen erottelukykyyn pyrkien kuitenkin välttämään silmien turha rasittuminen ja väsyminen. Illuminanssin yksikkö on luks (lx).

Kromaattisuus on monitorin taustavalon ja paneelin värisävyn ominaisuus, joka voi vaihdella huomattavasti saman monitorimallin valmistuserän sisällä. Monitorit paritetaan jo tehtaalla ominaiskromaattisuuden perusteella samankaltaisten kanssa. Monitorien kromaattisuus myös muuttuu ajan myötä valmistusmateriaalien vanhenemisen takia, ja kuvalla on taipumus muuttua kellertäväksi. Jos monitoriparin monitorit kellastuvat eri tahtiin, se voi haitata lääketieteellistä diagnoosia, minkä vuoksi kromaattisuutta mitataan vuosittain. Monitorien absoluuttisella kromaattisuudella ei ole juurikaan merkitystä, mutta monitoriparille on määritetty maksimikromaattisuusero.

Mittausten lisäksi monitorien suorituskykyä arvioidaan TG18-QC-kuvan (kuvassa 3) perusteella, jonka referenssipisteistä tulkitaan monitorin suorituskykyä. [2, s. 6; 3, s. 10–11.]



Kuva 3. TG18-QC-kuva.

2.1 Mittalaitteet

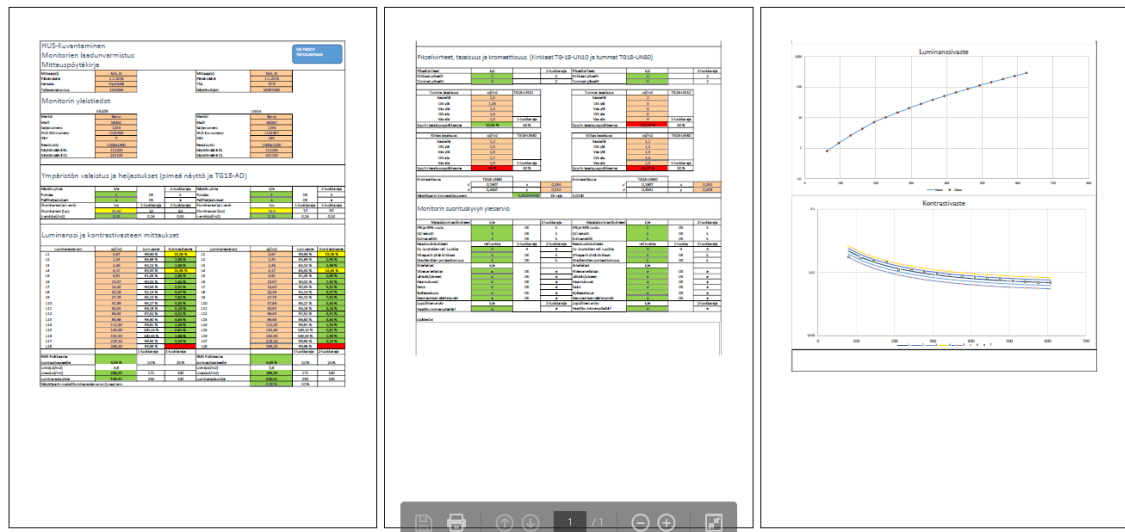
Mittauksissa käytetään Iba Dosimetryn diagnostisten monitorien laadunvarmistukseen varta vasten valmistettua LXChroma-mittalaitetta (kuvassa 4). Laitteella voidaan mitata luminanssia kontaktimittauksena monitorin pinnasta tai katseluetäisyydeltä, värin kromaattisuutta kontaktimittauksena sekä ympäristön valaistusta erillisellä anturilla. Mittalaite on kalibroitava kahden vuoden välein ja käytössä olevan mittalaitteen kalibrointi on voimassa maaliskuuhun 2018 asti. Mittalaitteessa on USB-portti akun latausta ja tiedonsiirtoa varten.[4.]



Kuva 4. Iba Dosimetryn LXChroma-mittalaite. Illuminanssianturi liitettynä lx-porttiin.

Mittaaminen tapahtuu käynnistämällä mittalaite liitetyillä varusteilla ja lukemalla arvot mittalaitteen näytöltä. Luminanssi- ja illuminanssimittauksissa mitaustulos näkyy juoksevana numerona näytön yläreunassa. Kromaattisuusmittauksessa mittalaitetta pidetään kontaktimittausosa kiinnitettynä monitorin pinnassa kiinni ja painetaan Start-näppäintä. Värisävyn x- ja y-koordinaatit ilmestyvät näytölle 5–20 sekunnin kuluttua, kun mitaus on valmis.

2.2 Mittausraportti



Kuva 5. Mittausraportti [5, liite 2].

Mittausraporttina toimii Microsoftin Excel-taulukko (kuvassa 5). Taulukko sisältää yhden monitoriparin vuosittaisesta mittauksesta kerättävät tiedot sekä matemaattisia ominaisuuksia mittaustulosten automaattiseen arviointiin. Taulukon etusivun värikoodeista nähdään heti täyttääkö monitoripari sille asetetut kriteerit. Mitattavat suureet ja niiden arviointi perustuu AAPM:n TG18-raporttiin.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

A

B

C

D

E

F

G

H

HUS-Kuvantaminen

Monitorien laadunvarmistus

Mittauspöytäkirja

Mittaja(t)

Päivämäärä

Sairaala

Työasematunnus

MA, JV

1.1.2015

Hyvinkää

12345W

Mittaja(t)

Päivämäärä

Tila

Näytönohjain

MA, JV

1.1.2015

RTG

MXRT400

Monitorin yleistiedot

VASEN

OIKEA

Merkki

Malli

Sarjanumero

HUS INV.numero

Väri

Resoluutio

Käyttömäärä BL

Käyttömäärä DL

Barco

MDGC

1234

L123456

V

1200x1600

112233

221133

Barco

MDGC

1234

L123457

MV

1600x1200

112233

221133

VIE TIEDOT

TIEKOKANTAAN

Kuva 6. Mittausraportti: Yleistiedot [5].

Ensimmäisenä kohtana raportissa on mittauksen ja monitorien perustiedot (kuvassa 6). Monitorien mallitiedot ja sarjanumerot katsotaan laitevalmistajan ohjelmistosta kuten myös käyttötuntimäärät. HUS INV.numero, eli niin sanottu L-numero on Lääkintätekniikan laitenumero, joka toimii tunnisteena Lääkintätekniikan omassa laiterekisterissä.

Seuraavassa kohdassa tulevat varsinaiset laadunvalvonnan parametrit: Monitorin pinnan puhtauden arviointi, ympäristön valaistus ja heijastukset (kuvassa 7), luminanssimitaukset 18:lla eri arvolla (kuvassa 8), pikselivirheet, luminanssin tasaisuus monitorin pinnan eri osissa sekä kromaattisuus (kuvassa 9) ja suorituskyvyn arviointi TG18-QC-kuvasta (kuvassa 10).

| Ympäristön valaistus ja heijastukset (pimeä näyttö ja TG18-AD) | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------|--------------|--------------|-----------------------|------|---------------------------|
| 19 | | | | | | | |
| 20 | Näytön pinta | k/e | | 2-luokkaraja | Näytön pinta | k/e | 2-luokkaraja |
| 21 | Puhdas | k | OK | k | Puhdas | k | k |
| 22 | Peiliheijastukset | e | OK | e | Peiliheijastukset | e | e |
| 23 | Illuminanssi ja L-amb | lux | 1-luokkaraja | 2-luokkaraja | Illuminanssi ja L-amb | lux | 1-luokkaraja 2-luokkaraja |
| 24 | Illuminanssi (lux) | 15,30 | 10 | 50 | Illuminanssi (lux) | 15,3 | 10 50 |
| 25 | L-amb(cd/m2) | 0,13 | 0,16 | 0,32 | L-amb(cd/m2) | 0,13 | 0,16 0,32 |
| 26 | | | | | | | |

Kuva 7. Mittausraportti: Ympäristön valaistus ja heijastukset [5].

| Luminanssi ja kontrastivasteen mittaukset | | | | | | | |
|---|--|--------|--------------|----------------|----------------------------------|--------|---------------------------|
| 27 | | | | | | | |
| 28 | Luminanssiarvot | cd/m2 | Lum.vaste | Kontrastivaste | Luminanssiarvot | cd/m2 | Lum.vaste Kontrastivaste |
| 29 | L1 | 0,67 | 99,96 % | 19,06 % | L1 | 0,67 | 99,96 % 19,06 % |
| 30 | L2 | 1,33 | 85,69 % | 2,95 % | L2 | 1,33 | 85,69 % 2,95 % |
| 31 | L3 | 2,46 | 84,13 % | 2,69 % | L3 | 2,46 | 84,13 % 2,69 % |
| 32 | L4 | 4,17 | 85,30 % | 14,65 % | L4 | 4,17 | 85,30 % 14,65 % |
| 33 | L5 | 6,91 | 91,03 % | 2,85 % | L5 | 6,91 | 91,03 % 2,85 % |
| 34 | L6 | 10,07 | 90,02 % | 1,62 % | L6 | 10,07 | 90,02 % 1,62 % |
| 35 | L7 | 14,40 | 90,54 % | 5,32 % | L7 | 14,40 | 90,54 % 5,32 % |
| 36 | L8 | 20,28 | 92,14 % | 3,47 % | L8 | 20,28 | 92,14 % 3,47 % |
| 37 | L9 | 27,78 | 93,13 % | 7,82 % | L9 | 27,78 | 93,13 % 7,82 % |
| 38 | L10 | 37,89 | 95,27 % | 3,43 % | L10 | 37,89 | 95,27 % 3,43 % |
| 39 | L11 | 50,33 | 96,18 % | 5,18 % | L11 | 50,33 | 96,18 % 5,18 % |
| 40 | L12 | 66,43 | 97,52 % | 4,31 % | L12 | 66,43 | 97,52 % 4,31 % |
| 41 | L13 | 86,68 | 98,60 % | 4,84 % | L13 | 86,68 | 98,60 % 4,84 % |
| 42 | L14 | 112,40 | 99,81 % | 1,34 % | L14 | 112,40 | 99,81 % 1,34 % |
| 43 | L15 | 143,60 | 100,13 % | 0,81 % | L15 | 143,60 | 100,13 % 0,81 % |
| 44 | L16 | 182,30 | 100,33 % | 1,69 % | L16 | 182,30 | 100,33 % 1,69 % |
| 45 | L17 | 229,10 | 99,93 % | 0,23 % | L17 | 229,10 | 99,93 % 0,23 % |
| 46 | L18 | 288,20 | 99,98 % | - | L18 | 288,20 | 99,98 % - |
| 47 | | | 1-luokkaraja | 2-luokkaraja | | | 1-luokkaraja 2-luokkaraja |
| 48 | RMS Poikkeama kontrastivasteelle | 6,83 % | 10 % | 20 % | RMS Poikkeama kontrastivasteelle | 6,83 % | 10 % 20 % |
| 49 | Lmin(cd/m2) | 0,8 | | | Lmin(cd/m2) | 0,8 | |
| 50 | Lmax(cd/m2) | 288,33 | 171 | 100 | Lmax(cd/m2) | 288,33 | 171 100 |
| 51 | Luminanssisuhde | 360,41 | 250 | 100 | Luminanssisuhde | 360,41 | 250 100 |
| 52 | Näyttöparin maksilluminanssien arvo (Lmax) ero | 0,00 % | 10 % | | | 0,00 % | 10 % |

Kuva 8. Mittausraportti: Luminanssi- ja kontrastivasteen mittaukset [5].

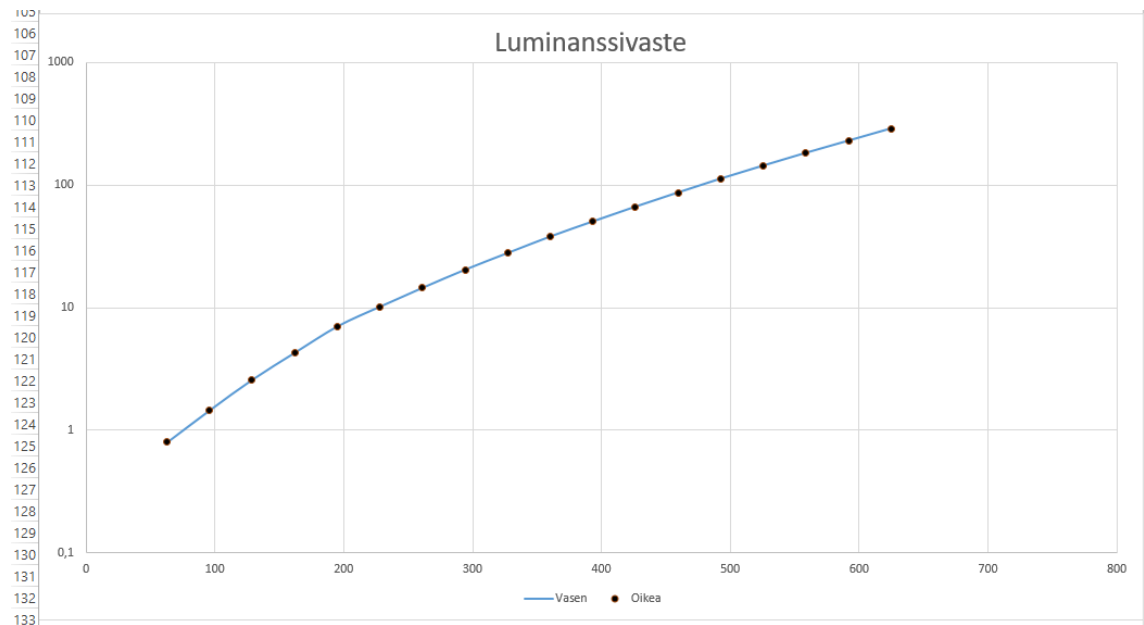
| | | | | | | | |
|--|------------------------------|---------|--------------|--------------|---------------------------|----------|--------------|
| Pikselivirheet, tasaisuus ja kromaattisuus (Kirkkaat TG-18-UN10 ja tummat TG18-UN80) | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | |
| 55 | Pikselivirheet | kpl | | 2-luokkaraja | Pikselivirheet | kpl | 2-luokkaraja |
| 56 | Kirkaat pikselit | 1 | | 2 | Kirkaat pikselit | 0 | 2 |
| 57 | Tummat pikselit | 0 | | 2 | Tummat pikselit | 0 | 2 |
| 58 | | | | | | | |
| 59 | Tumma tasaisuus | cd/m2 | TG18-UN10 | | Tumma tasaisuus | cd/m2 | TG18-UN10 |
| 60 | Keskellä | 1,4 | | | Keskellä | 2 | |
| 61 | Oik ylä | 1,35 | | | Oik ylä | 3 | |
| 62 | Vas ylä | 1,4 | | | Vas ylä | 4 | |
| 63 | Oik ala | 1,4 | | | Oik ala | 5 | |
| 64 | Vas ala | 1,5 | 1-luokkaraja | | Vas ala | 9 | 1-luokkaraja |
| 65 | Suurin tasaisuuspoikkeama | 10,53 % | 30 % | | Suurin tasaisuuspoikkeama | 127,27 % | 30 % |
| 66 | | | | | | | |
| 67 | Kirkas tasaisuus | cd/m2 | TG18-UN80 | | Kirkas tasaisuus | cd/m2 | TG18-UN80 |
| 68 | Keskellä | 1,2 | | | Keskellä | 1,1 | |
| 69 | Oik ylä | 1,4 | | | Oik ylä | 1,2 | |
| 70 | Vas ylä | 1,6 | | | Vas ylä | 1,3 | |
| 71 | Oik ala | 1,7 | | | Oik ala | 1,4 | |
| 72 | Vas ala | 1,9 | 1-luokkaraja | | Vas ala | 1,5 | 1-luokkaraja |
| 73 | Suurin tasaisuuspoikkeama | 45 % | 30 % | | Suurin tasaisuuspoikkeama | 30,77 % | 30 % |
| 74 | | | | | | | |
| 75 | Kromaattisuus | | | TG18-UN80 | Kromaattisuus | | |
| 76 | u' | 0,1907 | x | 0,294 | u' | 0,1907 | x |
| 77 | v' | 0,4567 | y | 0,313 | v' | 0,4541 | y |
| 78 | Näyttöparin kromaattisuusero | | | 0,002597882 | 1lk raja | 0,0100 | |

Kuva 9. Mittausraportti: Pikselivirheet, tasaisuus ja kromaattisuus [5].

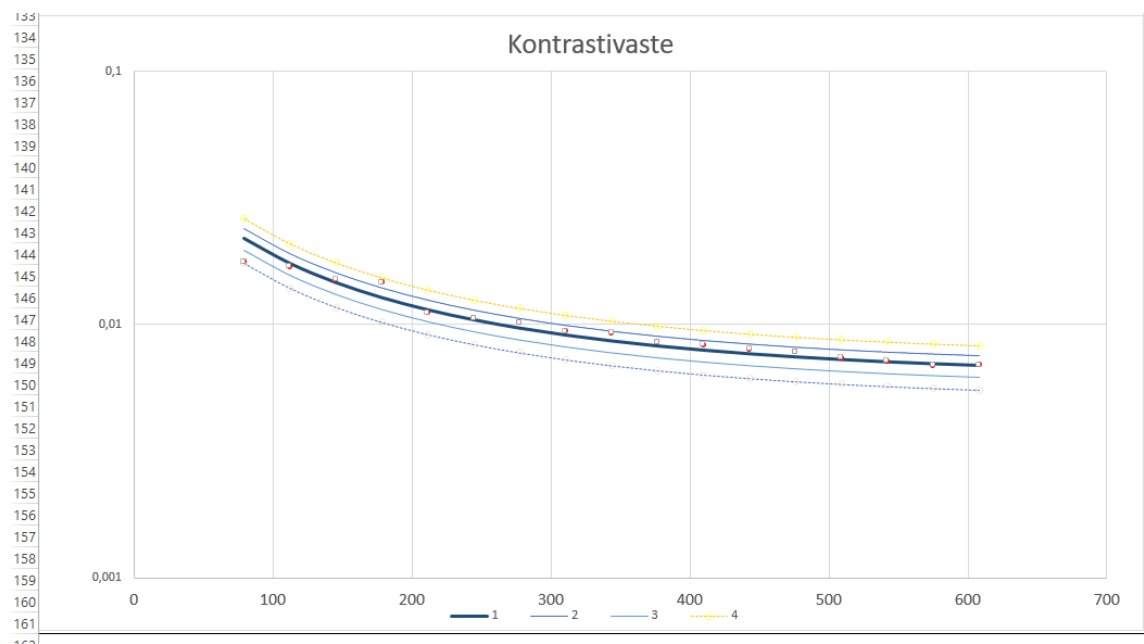
| | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------|------------|--------------|--------------|----------------------------|------------|--------------|
| Monitorin suorituskyvyn yleisarvio | | | | | | | |
| 79 | | | | | | | |
| 80 | Matalakонтрастikohteet | k/e | | 2-luokkaraja | Matalakонтрастikohteet | k/e | 2-luokkaraja |
| 81 | 5% ja 95% ruutu | k | OK | k | 5% ja 95% ruutu | k | k |
| 82 | QC-tekstit | k | OK | k | QC-tekstit | k | k |
| 83 | Kulmaneliöt | k | OK | k | Kulmaneliöt | k | k |
| 84 | Resoluutiokohteet | ref.luokka | 1-luokkaraja | 2-luokkaraja | Resoluutiokohteet | ref.luokka | 1-luokka |
| 85 | Cx -kuvioiden ref. Luokka | 0 | 4 | 6 | Cx -kuvioiden ref. Luokka | 0 | 6 |
| 86 | Viivaparit yhtä kirkaat | k | OK | k | Viivaparit yhtä kirkaat | k | k |
| 87 | Gradienttien portaattomuus | k | OK | k | Gradienttien portaattomuus | k | k |
| 88 | Artefaktat | k/e | | | Artefaktat | k/e | |
| 89 | Videoartefaktat | e | OK | e | Videoartefaktat | e | e |
| 90 | Läiskät/pisteet | e | OK | e | Läiskät/pisteet | e | e |
| 91 | Haamukuvat | e | OK | e | Haamukuvat | e | e |
| 92 | Kaiut | e | OK | e | Kaiut | e | e |
| 93 | Epätasaisuus | e | OK | e | Epätasaisuus | e | e |
| 94 | Geometriset vääristymät | e | OK | e | Geometriset vääristymät | e | e |
| 95 | Lopullinen arvio | k/e | | 2-luokkaraja | Lopullinen arvio | k/e | 2-luokkaraja |
| 96 | Vaatiiko toimenpiteitä? | e | | e | Vaatiiko toimenpiteitä? | e | e |
| 97 | | | | | | | |
| 98 | Lisätiedot | | | | | | |
| 99 | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | |
| 101 | | | | | | | |
| 102 | | | | | | | |
| 103 | | | | | | | |
| 104 | | | | | | | |
| 105 | | | | | | | |

Kuva 10. Mittausraportti: Monitorin suorituskyvyn yleisarvio [5].

Raportin lopussa on tekstikenttä lisätietoja varten sekä graafiset kuvaajat monitoriparin luminanssi- (kuvassa 11) ja kontrastivasteesta (kuvassa 12).



Kuva 11. Mittausraportti: Luminanssivasteen kuvaaja [5].



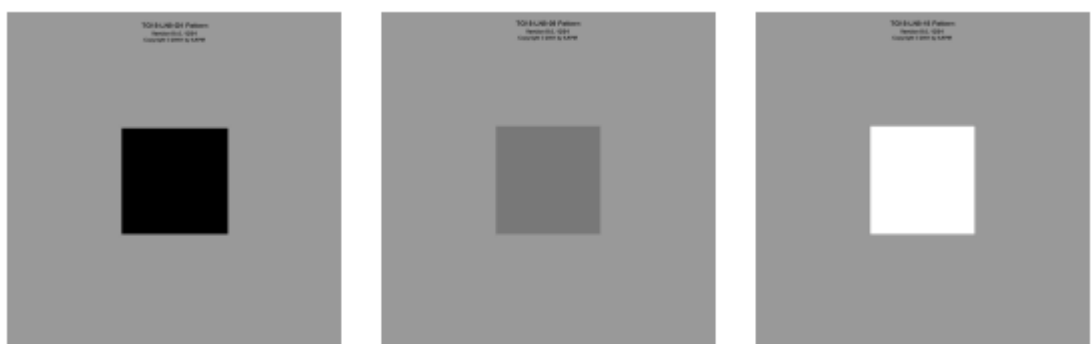
Kuva 12. Mittausraportti: Kontrastivasteen kuvaaja [5].

2.3 Mittaustapahtuman kulku

Mittaaja saapuu ennalta sovitun aikataulun mukaisesti vapautetun työaseman luokse. Työasema voi olla päällä tai pois päältä. Työasema käynnistetään ja kirjaututaan sisään. Työaseman käynnistyessä ja/tai kirjautuessa avataan kannettava tietokone, jolla suoritetaan tulosten kirjaaminen. Avataan kannettavalta mittausraporttipohja ja työasemalta kirjautumisen jälkeen laitevalmistajan seurantaohjelmisto, josta kirjataan monitorien perustiedot ja käyttötuntimäärät. Mittausraportin täyttö tapahtuu raportin osoittamassa järjestyksessä ylhäältä alas.

Seuraavaksi monitorit pimennetään joko sammuttamalla ne tai irrottamalla pistokkeet seinästä. Monitorien pinnan puhtaus arvioidaan silmämääräisesti ja tarvittaessa pinnat puhdistetaan asiaan kuuluvilla tarvikkeilla. Mittalaitesalkusta otetaan LXChroma-mittalaite, kytketään siihen illuminanssianturi ja mitataan ympäristön valaistus. Mittalaite sammutetaan, irrotetaan illuminanssianturi, käynnistetään mittalaite uudelleen, mitataan pimeän monitorin pinnalta heijastuva valo, eli niin sanottu ambientti luminanssi katseluetaisyydeltä.

Monitorit käynnistetään tai kytketään pistokkeet uudelleen ja avataan työasemalta Agfa Impax, joka on HUS:n käyttämä PACS-kuvankatseluohjelma. Impaxin hakutyökalulla etsitään PACS-palvelimelle tallennetut AAPM:n testikuvasarjat, joista avataan ensimmäisenä 18 kuvan luminanssisarja (kuvassa 13).



Kuva 13. Kolme esimerkkiä 18-osaisen luminanssisarjan kuvista [3, s. 47].

Luminanssiarvot mitataan ja kirjataan jokaisesta kuvasta yksitellen. Kun molempien monitorien yhteensä 36 luminanssimittausta on tehty, avataan UN10- ja UN80-luminanssin tasaisuuskuvat (kuvassa 14), joista ensin katsotaan pikselivirheet: esiintyykö kuvassa

tummia tai vaaleita pikseleitä, sitten mitataan ja kirjataan luminanssiarvot monitorin keskeltä ja nurkista: Yhteensä 20 luminanssin tasaisuusmittausta.



Kuva 14. Tumma UN10 ja vaalea UN80 "Uniformity", eli tasaisuuden testikuvat [2, s. 42].

Näiden jälkeen UN80-kuvan keskeltä mitataan ja kirjataan vielä kromaattisuus. Nyt kaikki mittaukset on suoritettu, joten mittalaitteen voi sammuttaa ja pakata takaisin salkkuun. Avataan QC-kuva (kuvassa 3, s. 4), jonka eri kohdista arvioidaan silmämääräisesti kuvanlaatua. Viimeisenä kohtana raporttiin kirjataan, vaatiiko monitori jatkotoimenpiteitä ja mahdollisesti kirjoitetaan Lisätiedot-tekstikenttään vapaamuotoinen kommentti monitorien suorituskyvystä.

Mittausraportti tallennetaan käyttäen vakiomuotoista tiedostonimeä, joka muodostuu monitorien L-numeroista sekä päivämäärästä, arkistoinnin helpottamiseksi. Kun päästään takaisin toimistolle ja verkkoyhteyksien äärelle, viedään tulokset Metropolian alumni Martti Ahasolan edellisvuonna kehittämään Microsoftin Access-monitoritietokantaan sekä tallennetaan raportit PDF-muodossa Lääkintätekniikan laiterekisteriin liitetiedostoiksi kyseisten laitteiden laitelehdille.[5 s. 6–14; 6.]

3 Menetelmän optimointi

Kuten Sirén diplomityössään pohtii [2, s. 52], helpoin tapa tehostaa laadunvalvontamittauksia olisi sovellus, joka siirtäisi mittaustulokset mittalaitteelta suoraan mittausraporttiin. Tässä projektissa kehitetään Python-ohjelmointikielellä yksinkertainen ja kevyt prototyyppi-mittausohjelma, joka lukee USB-yhteydellä mittalaitteen arvot ja syöttää ne

automaattisesti edellä mainittuun mittausraporttiin sekä Wscript-yhteydellä ohjailee joidakin yksinkertaisia ja toistuvia Windows-komentoja.

Aikaa voidaan lisäksi säästää myös hyödyntämällä MS Excelin ominaisuuksia. Tavoitteena on tehostaa menetelmä äärimmilleen, jolloin kaikki mahdolliset manuaaliset kirjaukset pyritään muuttamaan automaattisiksi. Raportin sisältöön ei puututa, mutta raportin täyttöjärjestystä muutetaan niin, että mittaustapahtuman rytmi on sulava ja kaikki työase-
man käynnistymiseen ja kirjautumiseen kuluva joutoaika käytetään jollain tavalla hyödyksi.

Uusi menetelmä koulutetaan mittauksia suorittavalle henkilöstölle ja arvioidaan menetelmän tehokkuutta todellisessa käyttöympäristössä. Menetelmän tehokkuutta arvioidaan sen tuoman nopeushyödyn sekä käytettävyyden kannalta.

3.1 Mittausraportin optimointi

MS Excel -muotoisen mittausraportin täytön optimoinnissa voidaan hyödyntää Excelin sisäänrakennettuja ominaisuuksia ja funktioita. Jotta menetelmä toimisi parhaalla mahdollisella tavalla, on toimenpiteistä pyritty säästämään jokainen mahdollinen sekunti. Mittausraporttia optimoidaan lisäämällä siihen automaattisia toimintoja yksinkertaisten ja toistuvien tietojen täytössä sekä tutkitaan raportin täyttöjärjestystä suhteessa mittaustapahtumaan. Mittausraportin sisältämien matemaattisten kaavojen on pysyttävä ennallaan, ja taulukon on oltava edelleen yhteensopiva monitoritietokannan kanssa. Seuraavassa on eritelty mittausraporttiin tehdyt muutokset.

Päivämäärä

Päivämäärä kirjataan ensimmäisenä jokaiseen raporttiin. Päivämäärän kirjaukseen ei montaa sekuntia kulu, mutta se voidaan välttää kokonaan käyttämällä päivämäärän solussa Excelin funktiota (kuvassa 15), joka antaa päivämäärän normaalissa muodossa: "PP.KK.VVVV".

=TÄMÄ.PÄIVÄ()

Kuva 15. Päivämäärä-solun kaava.

Monitorin yleistiedot

Tämä toiminto on kokeilumielinen esimerkki, eli sitä olisi mahdollista kehittää vielä selkeämmäksi. Monitorin yleistiedot kirjataan raporttiin, mutta merkin, mallin ja varsinkin sarjanumeron hakeminen ja kirjaaminen käsin laitevalmistajan ohjelmistosta tai katsominen monitorin takaa tyyppikilvestä vie suhteellisen paljon aikaa. Ideana on, että nuo tiedot on löydettävissä L-numeron perusteella jostain olemassa olevasta tiedostosta, josta ne haetaan suoraan niille tarkoitettuihin soluihin.

Tässä esimerkissä on käytetty Lääkintätekniikan laiterekisteristä pikatoiminnolla vietyä Excel-taulukkoa (monitorit mequ.xlsx), joka sisältää merkki-, malli- ja sarjanumerotiedot kaikista laiterekisterissä olevista monitoreista. Merkin, mallin ja sarjanumeron soluissa olevat funktiot käyttävät HUS INV. numero-solun B13 L-numeroa, jonka perusteella tiedot paikannetaan "monitorit mequ"-tiedostosta. Funktiot on esitelty kuvissa 16, 17 ja 18. Merkin ja mallin funktiot kasvavat melko pitkiksi, johtuen laiterekisterin kirjavista merkintätavoista, jotta saadaan suodatettua ja muotoiltua tiedot raportteihin yhdenmukaisesti.

```
=JOS(M7;JOS(PITUUS(VASEN(ERISNIMI(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H));(JOSVIRHE(KÄY.LÄPI(" ";HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H));PITUUS(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H))+1)-1))<5;VASEN(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H));(JOSVIRHE(KÄY.LÄPI(" ";HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H));PITUUS(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H))+1)-1));VASEN(ERISNIMI(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H));(JOSVIRHE(KÄY.LÄPI(" ";HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H));PITUUS(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$H:$H))+1)-1)))";"
```

Kuva 16. Merkki-solun kaava.

```
=ISOT(JOS(M7;JOSVIRHE(KORVAA(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$B:$B);ETSI(ISOT(B10);ISOT(HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$B:$B)));PITUUS(B10)+1;"";HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$B:$B));""))
```

Kuva 17. Malli-solun kaava.

```
=JOS(M7;HAKU(B13;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$A:$A;'C:\Mittaus\[monitorit mequ.xlsx]monitorit mequ'!$D:$D);""))
```

Kuva 18. Sarjanumero-solun kaava.

Näiden funktioiden toiminta on yksinkertaistettuna seuraava:

- Soluun B13 on syötetty monitorin L-numero.
- Etsitään solua B13 vastaava arvo "monitorit mequ"-taulukon sarakkeesta A.
- Haetaan L-numeroa vastaavalta riviltä sarakkeen B, D tai H sisältämä arvo.
- Sarake B sisältää mallin, sarake D sarjanumeron ja sarake H merkin.

Tämä toiminto on, kuten sanottu, kokeilumielinen esimerkki ja monimutkaisten funktioiden lukeminen auki ja muokkaaminen jälkeinpäin on lähes mahdotonta. Karkea prototyyppi toimii kuitenkin käytännössä lähes aina halutulla tavalla, ja jos ongelmia kohdataan, tiedot voi kirjata käsin, kuten tehtäisiin myös silloin, kun monitori on uusi eikä vielä löydy laiterekisteristä ollenkaan.

Raportin tiedostonimi

Raporttiedostot arkistoidaan verkkolevyllä vakioimuotoisella tiedostonimellä, joka sisältää monitoriparin L-numerot soluista B13 ja F13 ja päivämäärän solusta B5, esimerkiksi L1044001-2_060217. Tämä muoto luodaan vertailemalla L-numeroiden yhteneviä osia

ja lisäämällä ensimmäisen monitorin L-numeron perään viiva ja toisen monitorin ensimmäisestä eroava loppuosa. Esimerkin monitorien L-numerot ovat siis L1044001 ja L1044002. Loppuun lisätään alaviivalla erotettuna päivämäärä muodossa PPKKVV. Tätä automaattisesti luotua tiedostonimeä käytetään jäljempänä tiedoston automaattisessa tallentamisessa.

Funktioiden muuttaminen arvoiksi

Automaattisesti arvoaan muuttavat funktiot on muutettava niiden antamiksi arvoiksi ennen tallentamista. Muuten esimerkiksi päivämäärä-solu vaihtaa arvonsa aina siksi päivämääräksi kun taulukko avataan, jos raporttia vaikka muokataan jälkeinpäin. Tähän tarkoitukseen tehdään makro-ohjelma, joka valitsee kaikki muuttuvia arvoja sisältävät solut, kopioi ne ja liittää ne saman valinnan päälle pelkkinä arvoina. Toiminto on toteutettu aivan tavanomaisilla valitse-, kopioi- ja liitä-komennoilla. Freeze-niminen makro-ohjelma tallennetaan mittausraporttiin sisäisesti ja se suoritetaan erillisellä komennolla.

Mittausraportin täyttöjärjestys

Mittausraportin täyttöjärjestystä muuttamalla saavutetaan sujuvammin rytmitetty mittaus-tapahtuma. Kun mittaus-tapahtuman kulku on tarkoin määritetty, vältetään turha odottelu-aika. Laitteiden käynnistyessä tai kirjautuessa kuluva aika käytetään hyödyksi kytke-mällä mittalaite valmiiksi, puhdistamalla monitorit etukäteen ja kirjaamalla raporttiin ne perustiedot jotka ovat jo saatavilla, kuten sairaalan nimi, huoneen numero, työaseman numero ja monitorien L-numerot.

Mittausraportin järjestystä muutetaan siten, että perustietojen jälkeen siirrytään suoraan luminanssi- ja luminanssin tasaisuusmittauksiin. Näin kaikki 56 luminanssimittausta ovat peräkkäin, eikä mittaria tarvitse laskea kädestä välillä. Luminanssien jälkeen tulevat kro-maattisuusmittaukset, koska ne suoritetaan samalla tavoin kontaktimittauksena samasta UN80-kuvasta, johon tasaisuusmittaukset päättyvät. Näin mittalaitetta ei tarvitse sam-muttaa, eikä vaihtaa tarvikkeita välillä. Pikselivirheet ja suorituskyvyn arviointi ovat sil-mämääräisinä arvioina peräkkäin.

Ympäristön valaistus ja heijastukset on jätetty viimeisiksi, koska ne suoritetaan pimeältä näytöltä ja koska suuressa osassa monitoreista ei ole painiketta virrankatkaisulle, on

yleensä yksinkertaisinta vain sammuttaa työasema, jolloin myös monitorit sammuvat. Sillä aikaa kun työasema sammuu, voi kytkeä mittalaitteeseen illuminanssianturin. Välillisenä hyötynä työaseman sammuttamisesta on tietoturvapäivitysten asentumisen salliminen.

Mittauskierroksilla on usein huomattu, että päivityksiä voi olla rästissä useiden kuukausien edestä työasemien oltua lukittuina. Tämä voi aiheuttaa mahdollisen tietoturvallisuusriskin työasemilla, joilla käsitellään arkaluontoisia potilastietoja.

3.2 Mittausohjelman kehitys

Ehdottomasti eniten aikaa vievä vaihe laadunvalvonnassa on lukuisat peräkkäiset luminanssimittaukset. Monitoriparia kohden suoritetaan yhteensä 56 luminanssimittausta kontaktimittauksina. Näiden tulosten kirjaaminen käsin, pitäen mittaria jatkuvasti monitorissa kiinni, on ennen kaikkea tuskallisen hidasta, mutta myös rasittavaa epäergonomisen työskentelyasennon takia. Mahdollisuus mittauksien automaattiseen kirjaamiseen ohjelmallisesti on tiedetty jo vuosia, mutta sitä ei ollut vielä tähän mennessä toteutettu.[2, s.57.]

LXChroma-mittarin USB-väylää on mahdollista käyttää luminanssiarvojen siirtämiseen tietokoneelle. Mitään tähän tarkoitukseen sopivaa tietokoneohjelmaa ei kuitenkaan ole ollut olemassa. Iba Dosimetry on julkaissut saksankielisen demo-ohjelman, jolla luminanssiarvoja voi katsella tietokoneen näytöltä, mutta ei tallentaa. LXChroma-mittalaite käyttää WinUSB-ajuria ja se tunnistautuu yleiseksi Human Interface Device- eli HID-laitteeksi. Nämä WinUSB HID -laitteet eivät tarvitse toimiakseen erillisiä laiteajureita vaan niiden toimintaa voidaan ohjailla ylemmän tason komennoilla käyttämällä Windowsin sisäänrakennettua WinUSB-rajapintaa [7.]

Python valikoitui ohjelmointikieleksi ensisijaisesti kirjoittajan henkilökohtaisen preferenssin takia. Python ei tarvitse erillistä kääntäjää, ja koodia voi siten testata nopeasti suoraan komentoriviltä. Python perustuu kokonaan avoimeen lähdekoodiin ja sitä voidaan laajentaa lukuisilla avoimen lähdekoodin kirjastoilla [8]. Pikaisella etsinnällä löytyikin tähän tarkoitukseen erinomaisesti soveltuvia avoimen lähdekoodin kirjastoja: PyWinUSB-

kirjasto WinUSB-laitteiden ohjailuun sekä OpenPyXL-kirjasto Excel-taulukoiden muokkaamiseen. Lisäksi vielä Windowsin automaattitoimintojen luomiseen sopiva PyWin32-kirjasto, jolla voidaan ohjata yksinkertaisia toistuvia Windows-komentoja.

Mittausohjelman toiminta

LXChroma-mittarin tulee olla kytkettynä USB-kaapelilla kannettavan tietokoneeseen ja kytkettynä päälle ennen mittausohjelman käynnistämistä. Mittausraportin tulee olla avatuna taustalla ja mikään solu ei saa olla aktiivisena. Kannettavan langaton verkkoyhteys tulee olla kytkettynä pois päältä. Kun mittausohjelma käynnistetään, ilmestyy ohjelman alkuvalikko (kuvassa 19), joka sisältää numeroidun listan kytketyistä HID-laitteista. Oikea laite valitaan syöttämällä valinnan numero ja painamalla Enter-näppäintä. Näytölle alkaa ilmestyä luminanssiarvoja sekä kehote, mikä mittauksen vaihe on menossa (kuvassa 20):

```
Valitse mittalaite:
0 => Lopetus
1 => Gigahertz Optik          LXcan          (vID=0x0c49, pID=0x0005)
    Laite '<' - '>', '0' Lopettaaksesi?> [Anna numero ja paina Enter]:
```

Kuva 19. Mittausohjelman alkuvalikko.

```
Odotetaan dataa...
4.902 Uasen L1
4.906 Uasen L1
4.904 Uasen L1
4.869 Uasen L1
4.904 Uasen L1          Tallennettu
4.902 Uasen L2
4.908 Uasen L2
4.888 Uasen L2
4.906 Uasen L2
4.915 Uasen L2
4.882 Uasen L2          Tallennettu
4.906 Uasen L3
4.899 Uasen L3
4.894 Uasen L3
```

Kuva 20. Mittausohjelman eteneminen.

```
[ "Vasen L1", "Vasen L2", "Vasen L3", "Vasen L4", "Vasen L5", "Vasen L6", "Vasen L7",
  "Vasen L8", "Vasen L9", "Vasen L10", "Vasen L11", "Vasen L12", "Vasen L13", "Vasen L14",
  "Vasen L15", "Vasen L16", "Vasen L17", "Vasen L18", "Vasen TT K", "Vasen TT OY",
  "Vasen TT VY", "Vasen TT OA", "Vasen TT VA", "Vasen KT K", "Vasen KT OY", "Vasen KT VY",
  "Vasen KT OA", "Vasen KT VA", "Oikea L1", "Oikea L2", "Oikea L3", "Oikea L4", "Oikea L5",
  "Oikea L6", "Oikea L7", "Oikea L8", "Oikea L9", "Oikea L10", "Oikea L11", "Oikea L12",
  "Oikea L13", "Oikea L14", "Oikea L15", "Oikea L16", "Oikea L17", "Oikea L18",
  "Oikea TT K", "Oikea TT OY", "Oikea TT VY", "Oikea TT OA", "Oikea TT VA", "Oikea KT K",
  "Oikea KT OY", "Oikea KT VY", "Oikea KT OA", "Oikea KT VA"]
```

Kuva 21. Luettelo mittauksen vaiheesta kertovista kehotteista.

Kun käyttäjä painaa Enter-näppäintä, kehotteen vieressä näkyvä luminanssiarvo tallentuu raporttiin kehotteen mukaiseen soluun ja kehote vaihtuu seuraavaksi.

Kuvan 21 kehoteluettelon lyhenteiden selitykset:

- L1–L18 = Luminanssiarvokuvat 1–18.
- TT = Tumma tasaisuus. KT = Kirkas tasaisuus.
- V = Vasen. O = Oikea.
- K = Keskellä. Y = Ylänurkka. A = Alanurkka.

Kehote "Vasen KT OY" tarkoittaa siis vasemman monitorin kirkkaan tasaisuuskuvan oikeaa ylänurkkaa.

Kun kaikki luminanssimittaukset on suoritettu, mittausohjelma suorittaa mittausraportin sisältämän freeze-makron, jolloin kaikki raportin muuttuvat arvot jäävät pysyviksi, mittausohjelma kopioi automaattisesti luodun tiedostonimen välimuistiin sekä tallentaa raportin nimellä liittäen nimikenttään tuon tiedostonimen. Lopuksi valinta siirtyy mittausraportin soluun H65 ja mittausohjelma sulkeutuu. Näin valinta on oikeassa kohdassa mitausten jatkamiseksi kromaattisuusmittauksista eteenpäin.

Mikäli mittalaitteeseen ei saada yhteyttä ohjelman käynnistyessä, ilmestyy ruudulle virheilmoitus (kuva 22):

Laitevirhe. Kytke laite ja aloita ohjelma uudelleen.

Kuva 22. Virheilmoitus, kun laitteita ei löydetä.

Mittausohjelman toteutus

Mittausohjelma on ohjelmoitu Pythonilla, ja se on rakenteeltaan hyvin yksinkertainen. Ohjelma sisältää kaksi pääfunktiota, joista toinen käsittelee yhteyttä mittalaitteeseen ja toinen käsittelee mittalaitteen antamaa dataa. Toteutuksessa on hyödynnetty avoimen lähdekoodin lisäkirjastoja.

PyWinUSB on avoimen lähdekoodin kirjasto, joka sisältää funktioita Windowsin WinUSB-rajapintaa käyttävien HID-laitteiden käsittelyyn [9]. Tämä kirjasto soveltuu siis LXChroma-mittalaitteen käsittelyyn erinomaisesti. Kirjasto on BSD-3-lisenssin alainen, eli sitä saa muokata ja käyttää vapaasti kunhan liittyy lähdekoodiin tekijänoikeusilmoituksen. Alkuperäisen tuotteen ja tekijän nimeä ei saa käyttää markkinoinnissa ilman kirjallista lupaa [10].

OpenPyXL on Excel-taulukoiden muokkaamiseen tarkoitettu kirjasto, joka soveltuu mittalaitteelta saatujen arvojen kirjaamiseen mittausraporttiin [11]. OpenPyXL on MIT/Expat-lisenssin alainen, sitä saa muokata ja käyttää vapaasti, kunhan liittyy lähdekoodiin tekijänoikeusilmoituksen ja tekijänoikeuden ehdot [12].

PyWin32-kirjasto sisältää funktioita, joilla voi ohjata Windowsin toimintoja sen omaa Windows Script Host, Wscript-yhteyttä käyttäen [13]. Tämä kirjasto on Python Software Foundation -lisenssin alainen. Lisenssi on BSD:n kaltainen salliva lisenssi, joka myös sallii alkuperäisen lähdekoodin muokkaamisen [14].

Mittausohjelman käynnistyessä käyttäjälle esitetään valikko, johon on numeroitu kaikki tietokoneeseen liitetyt HID-laitteet. Näihin voi kuulua hiiri, näppäimistö, viivakoodinlukija ja muut syöttölaitteet. Tässä tapauksessa listassa näkyy myös LXChroma-mittalaite. Laitteiden käsittelystä vastaa ensimmäinen kahdesta pääfunktiosta, "raw_test()". Laitteiden etsimisessä käytetään PyWinUSB-kirjaston *hid.find_all_hid_devices()*-funktiota (1).

```
all_hids = hid.find_all_hid_devices() (1)
```

Funktio 1 palauttaa listan kytketyistä HID-laitteista. Laitteet numeroidaan niiden lista-indeksin perusteella ja käyttäjää kehoitetaan valitsemaan haluamansa laite syöttämällä laitteen numero. Kun käyttäjä syöttää numeron, numeroa vastaava laite määritetään device-muuttujan arvoksi (2).


```
device = all_hids[int_option-1] (2)
```

Laite avataan device.open()-funktiolla ja määritetään sen ulostuloraportit (3):

```
device.open() (3)
out_report = device.find_output_reports()
```

Tämän jälkeen määritetään laitteen antamaa dataa käsittelemään toinen mainituista pääfunktioista "sample_handler()" (4):

```
device.set_raw_data_handler(sample_handler) (4)
```

Kun tarvittavat määritelmät on tehty, luodaan While-toistorakenne, joka lähettää laitteelle kyselyn. Laitteen palauttama vastaus sisältää tässä tapauksessa mittalaitteen sen hetkisen luminanssilukeman (5).

```
while device.is_plugged(): (5)
    buffer= [0x00, 0x46, 0x30, 0x0d, 0x0a, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00]
    out_report[0].set_raw_data(buffer)
    out_report[0].send()
    sleep(0.2)
return
```

Datankäsittelyfunktio sample_handler() vastaanottaa laitteen antaman luminanssiarvon ja muuttaa sen kirjaamiseen soveltuvaan desimaalimuotoon. Arvot tulevat laitteelta aluksi heksadesimaalimuotoisena bittijonona, esimerkiksi: {31 2e 33 39 32 45 30 31}, heksa-arvot muutetaan ensin American Standard Code for Information Interchange- eli ASCII-merkkijonoksi, joka antaa luminanssiarvon eksponenttimuotoisena: 1.392E01. Arvo määritetään tässä muodossa value-muuttujaan. Arvo muutetaan desimaaliksi esittäessä se käyttäjälle: 13,92. Aiemmin esitellyt mittauksen vaiheesta käyttäjälle kertovat kehoitteet on määritetty mittaus[]-listan alioiksi. Sitä mukaa kun toistorakenne antaa luminanssiarvoja sleep()-funktiolla 0,2 sekunnin välein tahditettuna, sample_handler()-funktio tulostaa käyttäjälle luminanssiarvon määrättyssä desimaalimuodossa ja mittauksen vaiheesta kertovan kehoitteen (6).

```
(6)
print(str(round(float(value), 3)).ljust(5,"0"), "\t", mittaus[i])
```

Kun käyttäjä painaa jotain näppäintä, toistorakenne poikkeaa ja sillä hetkellä value-muuttujassa oleva luminanssiarvo kirjoitetaan OpenPyXL-kirjaston workbook-funktioiden avulla mittauksen vaiheen määräämään mittausraportin soluun (7).

(7)

```
if kbhit() and i < 56:
    prompt =str(round(float(value), 3)).ljust(5,"0")+"\t"+mittaus[i)+"\tTallennettu"
    raw_input(prompt)
    if i < 18:
        solu = "B%d" % (i+29)
    elif i >= 18 and i < 23:
        solu = "B%d" % (i+42)
    elif i >= 23 and i < 28:
        solu = "B%d" % (i+45)
    elif i >= 28 and i < 46:
        solu = "F%d" % (i+1)
    elif i >= 46 and i < 51:
        solu = "F%d" % (i+14)
    elif i >= 51 and i < 56:
        solu = "F%d" % (i+17)
    warnings.filterwarnings("ignore")
    wb = load_workbook("C:\Mittaus\mittaus.xlsm", keep_vba=True)
    ws = wb.active
    ws[solu] = float(value)
    wb.save("C:\Mittaus\mittaus.xlsm")
```

Käyttäjälle tulostetaan luminanssiarvo, kehote ja "Tallennettu" (kuvassa 20) merkiksi siitä, että kyseinen arvo on tallennettu mittausraporttiin. Mittaus[]-listan indeksi i:n arvo kasvaa yhdellä, jolloin tulevien luminanssiarvojen yhteydessä esitetään listan seuraava kehote.

Kun kaikki mittaus[]-listan alkiot on käyty läpi, kaikki 56 luminanssimittausta on suoritettu, toistorakenne keskeytyy ja nousee IndexError-poikkeama. Tässä käytetään hyväksi poikkeaman hallintaa ja luodaan ehtorakenne, jossa poikkeaman noustessa siirrytään seuraavaan ohjelman vaiheeseen. Wscript-yhteyttä hyödyntäen automatisoidaan loput tarpeelliset toiminnot. Aivan koodin alussa on määritetty Shell-komennot PyWin32-kirjaston sisältämän win32com-funktioiden avulla (8).

(8)

```
import win32com.client
shell = win32com.client.Dispatch("WScript.Shell")
```

Näin voidaan lähettää Windowsille yksinkertaisia näppäinkomentoja `shell.SendKeys()`-funktiolla (9).

(9)

```
except IndexError:
    os.startfile("C:\\Mittaus\\mittaus.xlsm")
    shell.SendKeys("%", 0)
    shell.SendKeys("o", 0)
    shell.SendKeys("u", 0)
    shell.SendKeys("m", 0)
    shell.SendKeys("p", 0)
    shell.SendKeys("p", 0)
    shell.SendKeys("{ENTER}", 0)
    shell.SendKeys("^+f", 0)
    shell.SendKeys("{F2}", 0)
    shell.SendKeys("+{HOME}", 0)
    shell.SendKeys("^c", 0)
    shell.SendKeys("{ESC}", 0)
    shell.SendKeys("%", 0)
    shell.SendKeys("o", 0)
    shell.SendKeys("u", 0)
    shell.SendKeys("m", 0)
    shell.SendKeys("u", 0)
    shell.SendKeys("{ENTER}", 0)
    shell.SendKeys("{F12}", 0)
    shell.SendKeys("^v", 0)
    shell.SendKeys("{ENTER}", 0)
    shell.SendKeys("^g", 0)
    shell.SendKeys("A", 0)
    shell.SendKeys("9", 0)
    shell.SendKeys("9", 0)
    shell.SendKeys("{ENTER}", 0)
    shell.SendKeys("^g", 0)
    shell.SendKeys("h", 0)
    shell.SendKeys("6", 0)
    shell.SendKeys("5", 0)
    shell.SendKeys("{ENTER}", 0)
    shell.SendKeys("{F2}", 0)
    shell.AppActivate('Get Value 0.5')
    print("Done!")
    shell.SendKeys("^c", 0)
    sys.exit()
```

Tämä sarja näppäinkomentoja avaa mittausraportin, poistaa taulukon suojauksen, suorittaa freeze-makron, joka muuntaa muuttuvat arvot pysyviksi, suojaa taulukon uudelleen, kopioi automaattisesti luodun tiedostonimen, tallentaa tiedoston nimellä, valitsee solun kromaattisuusmittauksia varten, ja lopulta ohjelma sulkee itse itsensä `sys.exit()`-komennolla. Tämä kaikki tapahtuu noin kolmessa sekunnissa, ja mittaaajalle jää eteen oikealla nimellä tallennettu mittausraportti, johon hän voi jatkaa tulosten täyttämistä kromaattisuuden mittauksista.

3.3 Mittaustapahtuman uusi kulku

Mittaaja saapuu ennalta sovitun aikataulun mukaisesti vapautetun työaseman luokse. Työasema voi olla päällä tai pois päältä. Työasema käynnistetään tai kirjaudutaan sisään. Sillä aikaa kun työasema käynnistyy ja/tai kirjautuu sisään, pyyhitään monitorin pinnasta pölyt ja sormenjäljet, kytketään LXChroma-mittalaite USB-johdolla kannettavaan tietokoneeseen, liitetään mittalaitteeseen kontaktimittausosa ja käynnistetään mittalaite. Avataan mittausraporttipohja ja kirjataan saatavilla olevat perustiedot raporttiin.

Monitorien merkki- ja mallitiedot löytyvät L-numeroiden perusteella, joten kun työasema on kirjautunut sisään, katsotaan laitevalmistajan ohjelmistosta vain käyttötuntimäärät. Avataan Agfa Impax ja otetaan esille AAPM:n testikuvat, joista ensimmäisenä 18 kuvan luminanssisarja. Varmistetaan että mittausraportissa ei ole soluja aktiivisena ja langaton verkkoyhteys on kytketty pois päältä. Avataan mittausohjelma ja valitaan mittalaite syötämällä sen numero. Suoritetaan 56 luminanssimittausta ohjelman kehotteen mukaisesti.

Kun luminanssimittaukset on suoritettu, ohjelma suorittaa automaattisen tallennuksen toimenpiteet, joiden päätyttyä mittausohjelma sulkeutuu ja mittausraportti on esillä arkistoinimellä tallennettuna ja kromaattisuusarvon solu valmiiksi valittuna. Mittalaitteen USB-johdon voi irrottaa. Mitataan ja kirjataan kromaattisuudet UN80-kuvasta. Sammutetaan mittalaite ja siirretään sivuun. Katsotaan pikselivirheet UN80 ja UN10 kuvista, avataan QC-kuva ja katsotaan suorituskyvyn arviointikohteet. Sammutetaan työasema. Sillä aikaa kun työasema sammuu, irrotetaan mittalaitteen kontaktimittausosa, kytketään illuminanssianturi ja käynnistetään mittalaite.

Kun monitorit ovat täysin pimeät, arvioidaan peiliheijastukset ja mitataan kuvankatselutilan valaistusvoimakkuus sekä heijastuva valo katseluetaisyydeltä monitorin pinnasta. Kirjataan mahdolliset lisätiedot ja tallennetaan raportti. Jos työasema oli päällä ennen mittauksen aloittamista, käynnistetään se uudelleen. Jos työasema oli pois päältä ennen mittauksen aloittamista, jätetään se pois päältä. Mittaustapahtuma on nyt suoritettu, joten tarvikkeet voi pakata salkkuun ja siirtyä seuraavalle työasemalle. Kun mittauksen jälkeen palataan toimistolle, mittausraportit tallennetaan verkkolevylle ja viedään tulokset monitoritietokantaan sekä laiterekisteriin.

4 Menetelmän tehokkuuden arviointi

Optimoidun mittausmenetelmän tehokkuutta arvioitiin kahdessa vaiheessa Peijaksen ja Jorvin sairaaloissa. Ensimmäisessä vaiheessa Peijaksen sairaalan röntgenosastolla arvioitiin ajallista hyötyä suorittamalla vuosittaiset laadunvalvontamittaukset käyttämällä hyväksi uutta mittausmenetelmää. Toisessa vaiheessa Jorvin sairaalan röntgenosastolla arvioitiin uuden menetelmän käytettävyyttä. Mukana Jorvissa oli kaksi vapaaehtoista normaalisti mittauksista vastaavaa röntgeninsinööriä, joille uusi mittausmenetelmä esiteltiin. Tarkoituksena oli arvioida, kuinka nopeasti he oppivat hyödyntämään uutta menetelmää tehokkaasti.

4.1 Nopeuden arviointi Peijaksessa

Tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon ajallista hyötyä uudesta mittausmenetelmästä on todellisessa käyttöympäristössä. Peijaksen röntgenosaston kanssa oli sovittu vuosittaisen laadunvalvontamittausten suorittamisesta normaaliin tapaan virka-aikana, jotta testausasetelma kuvastaisi mahdollisimman hyvin tavanomaista laadunvalvontakierrosta. Peijaksen sairaalassa on yhteensä 17 radiologin työasemaa, joista osa oli siirretty röntgenosaston remontin takia muualle niiden laiterekisteriin merkityistä huoneista poikkeaviin paikkoihin. Työasemia jouduttiin näin ollen etsimään osaston henkilökunnan avustuksella. Myös työasemien korkea käyttöaste virka-aikana ja joidenkin radiologien kiire aiheutti haasteita laadunvalvontakierroksella.

Mittauskierros aloitettiin Peijaksen röntgenosastolla sovitun aikataulun mukaisesti 8.2.2017 klo 10. Alkuperäisenä tavoitteena oli suorittaa osa mittauksista tuona päivänä kello 16 mennessä ja loput seuraavana päivänä. Uskaliaan arvion mukaan työasemaa kohden käytetty aika mittauskierroksella olisi noin 30 minuuttia sisältäen työasemien etsimisen, siirtymiset työasemien välillä sekä mahdolliset käynnistymis- ja kirjautumisajat. Näin ollen 17 työaseman läpikäymisessä kuluisi yhteensä noin 8,5 tuntia, jolloin ainakin 5 mittauksista pitäisi jättää seuraavaan päivään. Uskaliaasta aika-arviosta huolimatta, kun kello tuli 16, oli mitattavia työasemia jäljellä enää yksi, joten päätettiin sekin mittaus suorittaa saman päivän aikana. Laadunvalvontakierros oli valmis kello 16.22. Aikaa kierrokseen kului 6 tuntia ja 22 minuuttia, eli työasemakohtainen käytetty aika oli noin 22,5

minuuttia. Tämä aika sisältää siis kaiken joutoajan myös mittausten välillä, joten verrattuna vanhaan menetelmään, jossa pelkkä mittaussuorite kestää noin 30–45 minuuttia, voi uusi menetelmä olla jopa 50 % nopeampi.

4.2 Käytettävyyden arviointi Jorvissa

Käytettävyyesarvioinnin tavoitteena oli selvittää uuden mittausmenetelmän helppokäyttöisyyttä ja virheherkkyyttä. Käytettävyyesarvioinnissa oli mukana koehenkilöinä kaksi röntgeninsinööriä, joiden vastuulla monitorien laadunvalvontamittausten suorittaminen normaalisti on. Toisella insinööreistä oli kokemusta vanhan menetelmän käytöstä ja toinen oli uusi työntekijä, joka ei ollut tutustunut vanhaan menetelmään. Arvioinnissa selvitettiin kuinka nopeasti insinöörit oppivat käyttämään uutta mittausmenetelmää tehokkaasti ja täysin itsenäisesti. Tämäkin testausasetelma oli sijoitettu tavanomaisen laadunvalvontakierroksen yhteyteen, joka oli sovittu Jorvin röntgenosaston kanssa etukäteen.

Arviointi aloitettiin esittämällä koehenkilöille esimerkkisuorite menetelmän käytöstä. Tämän jälkeen koehenkilöt suorittivat mittauksia vuorotellen opastettuna ja toisiaan opastaen. Insinööri 1, jolle vanha menetelmä on tuttu, oppi käyttämään uutta menetelmää nopeasti: jo ensimmäinen suoritus sujui vain vähäisillä opastuksilla ja toinen jo täysin itsenäisesti. Insinööri 2, joka ei ollut käyttänyt vanhaa menetelmää, tarvitsi vähän enemmän opastusta, mutta hänkin onnistui täysin itsenäisessä suorituksessa kolmannella kierroksella.

Virheherkkyyden arvioinnissa tuli esille vahinkopainalluksen mahdollisuus luminanssimittauksia suorittaessa. Jos käden motoriikka pettää ja tulee vahingossa kirjanneeksi saman luminanssiarvon myös seuraavalle riville, tulee raporttiin virhe. Yleensä tällaiset virheet huomaa heti, kun pitää silmällä ohjelman antamaa kehotetta ja varmistaa, että kehote vastaa työasemalta mitattavaa kuvaa. Jos virhe jostain syystä jää kuitenkin huomaamatta, raportin sisältämä matemaattinen automaattiarviointi esittää kyseisen tuloksen punaisella huomiovärillä (kuvassa 23), jolloin virhekirjaus havaitaan ja voidaan korjata mittaamalla kyseinen arvo uudestaan ja kirjaamalla se käsin. Itse mittausohjelmassa ei ole mahdollisuutta palata taaksepäin mittauksissa, joten virheen huomattuaan kannattaa vain suorittaa mittaukset loppuun ohjelman kehotteen mukaisesti ja korjata vahingot käsin jälkeenpäin.

| Luminanssi ja kontrastivasteen mittaukset | | | | | |
|---|-----------------|--------|-----------|----------------|-----------------|
| | Luminanssiarvot | cd/m2 | Lum.vaste | Kontrastivaste | Luminanssiarvot |
| 19 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 21 | L1 | 0,68 | 99,94 % | 8,02 % | L1 |
| 22 | L2 | 1,73 | 108,14 % | 9,03 % | L2 |
| 23 | L3 | 3,54 | 115,26 % | 2,45 % | L3 |
| 24 | L4 | 5,95 | 113,69 % | 0,93 % | L4 |
| 25 | L5 | 9,46 | 114,19 % | 4,98 % | L5 |
| 26 | L6 | 13,92 | 111,84 % | 0,59 % | L6 |
| 27 | L7 | 20,10 | 111,59 % | 4,13 % | L7 |
| 28 | L8 | 27,89 | 110,00 % | 100,00 % | L8 |
| 29 | L9 | 27,89 | 79,85 % | 95,28 % | L9 |
| 30 | L10 | 51,13 | 108,06 % | 5,02 % | L10 |
| 31 | L11 | 67,33 | 106,48 % | 0,24 % | L11 |
| 32 | L12 | 88,97 | 106,41 % | 4,07 % | L12 |
| 33 | L13 | 115,22 | 105,22 % | 4,24 % | L13 |

Kuva 23. Jos mittauksessa tapahtuu virhelyönti, kuten tässä L8 on kirjattu kahteen kertaan, kontrastivaste menee punaiselle ja virhe on helppo havaita ja korjata.

5 Yhteenveto

Projektin ensisijainen tavoite nopeuttaa yksittäisen työaseman mittausaikaa täyttyä erinomaisesti. Uuden tietokoneavusteisen mittausmenetelmän ansiosta noin 45 minuutin mittauksetapahtuma on saatu nopeutettua 50 %:lla noin 22,5 minuuttiin. Tämä tuo laadunvalvontaprosessiin merkittävät säästöt joka vuosi.

Esimerkkilaskelma: Oletetaan, että mittauksen kustannukset ovat noin 100 €/tunti. Perinteisellä menetelmällä 45 minuuttia/työasema, 200 työaseman mittauksen vuosittaisiksi kustannuksiksi tulisi noin 15 000 euroa. Uudella mittausmenetelmällä säästetään 50 % ajasta, jolloin suoraa säästöä kertyisi vuosittain noin 7 500 euroa.

Välillisinä hyötyinä työaikaa vapautuu muihin tehtäviin, työaseman mittauksen aikaiset seisonta-ajat vähenevät ja laadunvalvonnan vuosittainen kokonaiskattavuus paranee aikataulujen väljentyessä. Myös toimiston ja kohdesairaalan väliset matkat ja matkakustannukset vähenevät, kun tyypillisen kohteen alle 20 työaseman mittaukset ehditään tehdä yhden päivän aikana. Mittauksia suorittavan henkilöstön tyytyväisyys tehtävää kohtaan voi parantua helpomman menetelmän ansiosta.

Mittausmenetelmän kehitys sujui varsin ongelmitta. Mittausraportti ja sen kanssa toimiva mittausohjelmaprototyyppi muodostuivat lopulta niin käyttökelpoisiksi, että henkilökunta

pystyy hyödyntämään niitä todellisessa työskentelyssään. Merkittäviä ongelmia käytettyyydessä ei esiintynyt, mutta kehittämisen varaa on edelleen.

Jatkokehityksessä voisi liittää mittausohjelman sisään koko mittausraportin sisällön. Tällöin ei tarvitsisi erikseen avata raporttitiedostoa Excelissä, vaan koko raportin täyttö ja tallennus tehtäisiin mittausohjelmassa. Monitoreissa olevat Lääkintätekniikan laitetarrat sisältävät L-numeron paitsi selkokiekisenä, myös viivakoodina. Mittausohjelman kanssa voitaisiin käyttää viivakoodinlukijaa, jolloin välttyttäisiin myös L-numeroiden näppäilyltä.

Ohjelmaan voisi myös kehittää graafisen käyttöliittymän käyttömukavuuden parantamiseksi. Mittauskierrosta voitaisiin vielä helpottaa sallimalla mittausten suorittaminen virka-ajan ulkopuolella, jolloin suurin osa radiologien työasemista ei ole aktiivisessa käytössä. Mittauskierroksella voidaan myös hyödyntää röntgenosastojen ajantasaisia kerospohjakuvia, joihin on merkitty kaikki radiologityöasemia sisältävät huoneet. Tämä helpottaa huomattavasti työasemien etsintää osastoilla.

Sosiaali- ja terveydenhuollon uudistukseen liittyy paljon paineita säästää kustannuksissa. Toimenpiteiden optimoinnilla ja tietotekniikan laajalla hyödyntämisellä voidaan saavuttaa mittavat säästöt niin sairaaloiden ydintoiminnoissa kuin niitä ympäröivissä tukitoiminnoissakin. Toimintoja on jo tehostettu laajasti ja tehostamista tullaan jatkamaan entistä enemmän jatkuvan kehityksen periaatteiden mukaisesti.

Lähteet

- 1 Mässeli, Eero. 2007. Litteät näytöt ja laadunvalvonta. Tiedote. Barco.
- 2 Sirén, Rosa-Maria. 2013. Diagnostisten näyttöjen laadunvarmistus digitaalisessa kuvankatselu- ja arkistointiympäristössä. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu.
- 3 Samei, Ehsan et al. 2005. Assessment of Display Performance for Medical Imaging Systems. Raportti. American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 Imaging Informatics Subcommittee.
- 4 LXCan & LXChroma. 2017. Verkkodokumentti. Iba Dosimetry. <<http://www.iba-dosimetry.com/complete-solutions/medical-imaging/QC-Radiography-Fluoroscopy/LXcan-LXchroma>>. Luettu 14.3.2017.
- 5 Ahosola, Martti. 2016. Diagnostisten näyttöjen laadunvarmistusprosessin kehittäminen. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 6 Kuusela, Linda. 2009. Diagnostisen monitorin laadun yleisarviointi ja katseluolosuhteet. Työohje. HUS-Röntgen.
- 7 WinUSB. 2017. Verkkodokumentti. Microsoft Hardware Dev Center. <[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff540196\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/hardware/ff540196(v=vs.85).aspx)>. Päivitetty 28.2.2017. Luettu 14.3.2017.
- 8 Python (Ohjelmointikieli). 2017. Verkkodokumentti. Wikipedia. <[https://fi.wikipedia.org/wiki/Python_\(ohjelmointikieli\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Python_(ohjelmointikieli))>. Päivitetty 27.1.2017. Luettu 14.3.2017.
- 9 PyWinUSB. 2017. Verkkodokumentti. GitHub, Inc. <<https://github.com/rene-aguirre/pywinusb/wiki/Introduction>>. Päivitetty 4.2.2017. Luettu 14.3.2017.
- 10 The 3-Clause BSD-license. 2017. Verkkodokumentti. Open Source Initiative. <<https://opensource.org/licenses/BSD-3-Clause>>. Luettu 14.3.2017.
- 11 OpenPyXL. 2017. Verkkodokumentti. OpenPyXL. <<https://openpyxl.readthedocs.io/en/default/>>. Päivitetty 10.3.2017. Luettu 14.3.2017.
- 12 The MIT-license. 2017. Verkkodokumentti. Open Source Initiative. <<https://opensource.org/licenses/MIT>>. Luettu 14.3.2017.
- 13 PyWin32. 2016. Verkkodokumentti. Sourceforge. <<https://sourceforge.net/projects/pywin32/>>. Päivitetty 1.11.2016. Luettu 14.3.2017.
- 14 History and license. 2017. Verkkodokumentti. Python Software Foundation. <<https://docs.python.org/3/license.html>>. Päivitetty 5.3.2017. Luettu 14.3.2017.